提丢斯–波得定则预测地震的检验

高玉平[1]，尹东山[1]，胡 辉[2]
1 中国科学院国家授时中心，西安 710600
2 中国科学院云南天文台， 昆明 650011

摘要：提丢斯-波得定则的核心是可公度。 根据可公度，对于地震， 在其时间轴上外推的可公度点就是未来地震可能发生的时间点，这就是用可公度预测地震的科学依据。 本文是对我们几年来，基于这一点对地震所作预测工作的总结检验，检验结果表明，可公度确实可以作为震前地震预测的一种手段， 值得深入研究。
关键词：提丢斯—波得定则；可公度；地震预测， 检验，

0 引言

一场突如其来的大地震往往造成重大的人员伤亡和财产捐失[1]，所以自古以来人们都很重视对地震的监测、预测、预报，正是在这种背景下，早在西汉时期，中国的张衡就于公元 132 年研究出候风地动仪，这是我国古代在地震观测研究中的一大发明[2]。经过千百年来的努力，人们对地震的监测已经从地面发展到了地下，除重力监测外，地倾斜、地应力、地形变、地下水、地磁、地电、地下流体(水位、水温、水化学、水中氡气等)，空间观测方面， 如热红外、 GPS、 电离层观测等， 中国和日本都利用全球定位系统建立了空间监测网， 所以，其监测手段已经从地面发展到了地下和天空，可以说是布下了天罗地网，来监测和捕捉地震。即使如此，真正预测到的地震还是很有限的。翁文波清楚地意识到预测道路之艰难，所以他另辟蹊径，从信息论出发，研究了提丢斯-波得定则[3]，并于 1981 年首先指出，可公度是自然界的一种秩序，地震发生的时间是可公度的，从而把可公度在一个空间域内的研究发展到在一个特定空间内、在时间域内的应用[4]，此后，中国学者就展开了对可公度的应用研究. 对于历史事件如何作可公度分析，来进行预测， 较多学者都是采用五元可公度式， 或三元可公度式，如翁文波[5]、 龙小霞[6]， 同时也有的学者是用有序网络结构作分析预测的[7,8]. 这些研究的广泛展开，促进了可公度的应用. 只是由于采用的资料有限，使用有限的历史资料所包含的信息自然也就是有限的， 所以这类预测的结论只能到年. 我们则是研制了一套 Fortran 软件，对资料作可公度分析，并由计算机直接输出结果. 据此，我们选取了 2000 年以来发生过 M≥7.0 地震地区的地震作可公度分析，并发表在 "亚洲地球科学杂志"[9] 。该文的结果表明，全球大地震基本上都发生在其时间轴上的可公度点上。所以，文章还指出，未来各研究区的地震可能就发生在其时间轴上外推的可公度点上的预测意见。文章发表以后，吉林大学杨学祥教授、云南大学张世杰教授等中国学者，建议我们用中文撰写一篇类似的文章，以利于更多中国学者的关注和应用。几年过去了，那篇文章的预测结果，和我们近年来的预测结果如何？本文专门对此作一总结，以引起同事们参与应用可公度预测地震的实践。 检验结果表明，可公度确实可以作为震前地震预测的一种手段， 值得深入研究。

1 提丢斯—波得定则及其扩展

提丢斯-波得定则，是 1766 年德国天文学家提丢斯在研究太阳系内行星到太阳的平均距离时，发现行星到太阳的平均距离是可公度的。 随后柏林天文台台长波得作了进一步研究，从而总结出著名的提丢斯-波得定则. 根据这一定则。不久之后，法国天文学家和数学家皮埃尔 • 西蒙 • 拉普拉斯发现木星的三颗卫星（即 Io，Europa 和 Ganymede）也服从这一定则。后来又陆续发现了天王星和谷神星，它们几乎完全在这一定则预测的轨道上。提丢斯-波得定则可表示为[3]:

$$\beta = \frac{a_{n+1}}{a_n} \qquad (1)$$

式中 a_n 是行星 n 到太阳的距离，其单位是天文单位，n 是行星远离太阳的编号。对于水星，n 不是 1，而是取 $-\infty$[10]），β 是太阳系行星的可公度值。

1966 年中国河北省邢台地区发生地震以后，中国著名地球物理学家翁文波院士受周恩来总理的重托，研究地震预报，为此他另辟蹊径，从信息论出发，研究了提丢斯-波得定则，并于 1981 年首先指出可公度是自然界的一种秩序，地震发生的时间是可公度的，从而把可公度在一个空间内的应用发展到在一个特定空间内、在时间域内的应用[4];:

$$\Delta X = \frac{X_{i+\Delta i} - X_i}{K} \qquad (2)$$

这里 K 是整数，如果上述关系成立，那么数据集$\{X_i\}$是可公度的，ΔX 是该数据集$\{X_i\}$的可公度值，如果 K 恒等于 1，则ΔX 为$\{X_i\}$的周期。

关于提丢斯-波得定则的机制理论，至今没有什么解释。这是因为可公度性反映的是事物本身的发展变化规律，这是客观存在的事实，它是一种信息系[5]。

2 预测实践

2.1 对日本东海岸地震的预测

2012 年 12 月 7 日、 2016 年 4 月 15 日、 和 2016 年 11 月 22 日，先后在日本东海岸，东海岸的九洲，和福岛地区发生了 7.4、7.3、和 7.4 级地震，根据文献[9]的表 4，该地区地震的可公度值是 0.55 年，它们的上一次地震分别是 2011 年 3 月 11 日(2011.18)、2012 年 12 月 7 日(2012.93)、和 2016 年 4 月 15 日(2016.29)。所以，这 3 次地震正好发生在其时间轴上前一次地震以后的第 3 个、第 6 个，和第 1 个外推的可公度点上，即

$$2012\text{-}12\text{-}7 = 2011.18 + 0.55\times 3 = 2012.83 = 2012\text{年}10\text{月}29\text{日} + 39\text{天} \qquad (3)$$

$$2016\text{-}4\text{-}15 = 2012.93 + 0.55\times 6 = 2016.23 = 2016\text{年}4\text{月}8\text{日} + 7\text{天} \qquad (4)$$

$$2016\text{-}11\text{-}22 = 2016.29 + 0.55\times 1 = 2016\text{年}11\text{月}3\text{日} + 19\text{天} \qquad (5)$$

2021 年 2 月 13 日本福岛地区发生了 7.3 级地震，根据 https://www.nhk.or.jp/nhkworld-blog/zh/网上消息，它是 2011 年 3 月 11 日大地震的余震，据此，我们取该地震为时间轴的起始点，则此次地震正好发生在其时间轴上外推的第 18 个可公度点上，即

$$2021\text{-}02\text{-}13 = 2011.18 + 0.55\times 18 = 2021.08 = 2021\text{年}2\text{月}13\text{日} + 15\text{天} \qquad (6)$$

这几次地震预测的绝对误差分别是 39 天， 7 天，19 天和 15 天；相对误差分别是 0.11，0.03， 0.07 和 0.07。

2.2 对印度尼西亚苏门答腊地区地震的预测

2016 年 3 月 2 日与 2018 年 9 月 28 日，印度尼西亚苏门答腊地区先后发生了 7.8 与 7.4 级地震，根据文献[9]的表 3， 该地区的可公度值是 0.53 年，它们的前次地震分别是 2004 年 12 月 26 日(即 2004.99) 和 2016 年 3 月 2 日(即 2016.17)。因此，这两次地震分别发生在其时间轴上外推的第 21 个和第 5 个可公度点上，即

2016-03-02=2004.99+0.53×21=2016年02月13日+18 天 (8)

2018-09-28=2016.17+0.53×5=2018年10月26日-28 天 (9)

这两次地震预测的绝对误差分别是 18 天和 28 天，相对误差为 0.09 和 0.14。

2.3 对九寨沟和玛多地震的预测

2010 年 4 月 14 日中国青海省玉树藏族自治州发生了 7.1 级强震以后，我们除了分析该地震的天文背景以外[11]，还分析了青海中东部地区 1900 年以来 7 级以上地震的可公度性,得到其可公度值为 1.24 年(表 2). 在这次地震以后，一个 7.0 地震和 7.4 级地震先后于 2017 年 8 月 8 日和 2021 年 5 月 22 日分别发生在四川阿坝州九寨沟和青海果洛州玛多. 九寨沟的 7.0 地震，虽然在行政区划上属于四川省，但就地质构造而言，它可能属于青海高原，因为很靠近青海（且在我们研究的青海中东部地区正好也包括了这一地区）。根据表 1，它们的前一次地震分别是 2010 年 4 月 14 日,和 2017 年 8 月 8 日,所以对于这两次地震我们分别得到

2017-08-08=2010.28+1.24×6=2017年09月19日-42 天 (10)

2021-05-22=2017.60+1.24×3=2021年04月27日+23 天 (11)

这两次地震预测的绝对误差分别是42天和23天，相对误差为0.09和0.05。

表1 青海中东部地区1900年以来7级以上地震事件的可公度性

Table 2 Commensurability of earthquake events in central and eastern region of Qinghai since 1900.0

No.	Earthquakes date YMD	(year)	X_i — X_{i-1} (year)	K	K△X (year)	X_i — K△X (year)
1	19270523	1927.39				
2	19370107	1937.01	9.62	8	9.92	-.30

3	19470317	1947.20	10.19	8	9.92		.27
4	19630419	1963.29	16.09	13	16.12	-	.03
5	20100414	2010.28	46.99	38	47.12		-.13

Commensurable value	1.24
Mean	- 0.048
Standard deviation (σ_{n-1})	0.120

此外,’ 我们还比较准确地预测了1999年9月21日台湾岛7.6级地震、2013年4月20日中国芦山的7.0地震和2014年4月1日智利伊基克的8.2地震， 其预测的绝对误差分别是1天,22天和11天[12, 13, 14, 15].

3 结论与讨论

1．提丢斯—波得定则的核心是可公度. 可公度存在于各种自然现象中，具有普遍性[8,16,17]。值得进一步研究。

2. 许多事件的发生似乎是偶然的, 实际情况并非如此。必然性恰恰存在于偶然之中。因此，可公度可以为预测该地区未来发生的事件提供科学依据。从可公度可以看出，许多事件的发生是不可避免的。

3.在时间轴上通过公度值外推的预测点只是一个必要条件，因此某些虚假预测是不可避免的。为了获得精确的预测，避免虚报， 该方法必须与三元或五元可公度式，以及其他手段相结合[12,14,18]。

4、不同地区其可公度值的不同, 这可能与其地质构造有关, 正如太阳系行星的可公度值，与木星、土星和天王星等的卫星的可公度值不同一样[19]. 因此，问题的关键是在于如何划分研究区, 这也是提高预测准确度的关键, 而我们的研究区, 往往是由各自的经度线和纬度线确定的矩形区域。因而也就造成我们的预测误差较大。

5.我们选取1900.0以来M≥7.0的地震, 其依据是, 根据恩达尔的研究: 1900.0以来M≥7.0的地震目录是完整的、可靠的[20]。

致谢 我们衷心感谢审稿人的宝贵意见。中国地球物理学会天灾预测专业委员会前顾问、英籍华人陈一文博士提供了有益讨论和帮助。中国地质大学曾佐勋教授， 北京市昌平高国梁先生， 云南天文台杨跃诚博士和韦卡宁博士为我们提供了有益的讨论和帮助。 我们对这些同事的帮助表示衷心的感谢。

本项目由国家自然科学基金: 11973046; 91736207; 42030105 联合资助

参考文献

[1] 国家地震局地质研究所，1983，中国八大地震震害摄影图集，北京，地震出版社
[2] 孙文青，1959，张衡年谱，北京，商务印书馆
[3] Nietro, M.M., 1972, The Titius—Bode Law of Planetary Distances, Its history and theory, (New York: Pergamon Press).
[4] 翁文波，1981，可公度, 地球物体学报，24， 151-154。
[5] 翁文波，1984，预测论基础[M]，北京：石油工业出版社。
[6] 龙小霞，延军平，孙虎，王祖正，2006，基于可公度方法的川滇地区地震趋势研究，灾害学，21(3):81-84。
[7]门可佩. 2014, 苏-南黄海地区 M≥6 强震有序网络结构及其预测研究.《南京信息工程大学学报》(自然科学版)，2014, 6(3): 268-274
[8]范垂仁, 李秀兵, 2008, 长江、淮河蚌埠三峡重大旱涝可公度网络结构图, 中国防汛抗旱管理, 2(2):41-45.
[9] Hui Hu，Yanben Han, Youjin Su, Rui Wang，2013, Commensurability of Earthquake Occurrence，Journal of Asian Earth Sciences,7071（2013）27-34。
[10] 郑家庆，1980, 张钰哲主编，中国大百科全书，天文学，北京 • 上海: 中国大百科全书出版社，P375
[11]李语强，胡辉，2012，青海玉树地震的天文背景分析，地球物理学报，l55（6）：1980-1984
[12]郭增建, 胡辉, 吴瑾冰, 2000, 1999 年 9 月 21 日台湾岛 7.6 级大地震预报讨论, 自然灾害学报, .9(4), 29-34
[13]Hu Hui, Han Yanben, 2005, Prediction of the Eerthquakes of Hualian in Taiwan and the Extended Discussion of the Method of Commensurability, 2(3):194-196

[14]胡 辉，曾佐勋，苏有锦，付 虹，王锐，2015，芦山地震的预测.天文研究与技术—天国家天文台台刊，Vol.12， No.2：161-166
[15]Hu Hui, Zinovy Malkin, Wang Rui, 2014, Application of Titius-Bode Law in earthquake study, Recent developments and prospects in ground-based and space astrometry, Proceedings of the Journées 2014 "Systèmes de Référence Spatio-Temporels":226-227
[16]胡辉，淮河洪水的可公度性分析，天文研究与技术—天国家天文台台刊，Vol.1 No.2(2004)，129-132
[17]门可佩. 2014，长江流域大洪水有序网络结构及其预测研究.《南京信息工程大学学报》(自然科版)，6 (2)：175-181
[18] 郭广猛，姜永涛，胡辉，2019，基于可公度和三性法对2016年意大利6级强震的预测和分析，地球物理学进展，Vol.34， No. 2: 423-427
[19] Prentice, A. J. R.，1977，Formation of the satellite systems of the major planets，Astronomical Society of Australia, Proceedings, vol. 3, Sept. 1977, pp172-173
[20]Engdahl E.R. and Villasenor A.,2002, GlobalSeismicity :1900-19990[A].In: Lee H K, Kanamori H,Jennings PC et al. eds. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology[C]. Part A. Amsterdam: Academic Press, 2002.

Test of Predicting Earthquakes by Titius-Bode Law

Gao Yuping[1], Yin Dongshan[1], Hu Hui[2]
1. National Time Service Center under Chinese Academy of Sciences, Xian, 710600, P.R.China;
2. Yunnan Observatory, Chinese Academy of Science, Kunming 650011, P.R. China;

Abstract: The core of the Titius-Bode Law is commensurability. According to the commensurability, for the earthquakes, the commensurable point extrapolated on its time axis is the time point at which the future earthquake may occur. This is the scientific basis for predicting earthquakes with commensurability. This article is a summary test of our earthquake prediction work based on this point in the past few years. The test results show that commensurability can indeed be used as a means of earthquake prediction before earthquakes, and it is worthy of in-depth study.

Keywords: Titus--Bode law; commensurability; earthquake prediction; test